

MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE ET DU COMMERCE.

SERVICE DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE.



BREVET D'INVENTION.

Gr. 12. — Cl. 2.

N° 942.468

Dispositif électromagnétique à induction.

Société dite : BENDIX AVIATION CORPORATION résidant aux États-Unis d'Amérique.

Demandé le 13 juillet 1946, à 11^h 33^m, à Paris.

Délivré le 20 septembre 1948. — Publié le 9 février 1949.

(Demande de brevet déposée aux États-Unis d'Amérique le 29 mai 1942, au nom de M. J. F. EMERSON. — Déclaration du déposant.)

La présente invention concerne un dispositif électromagnétique à induction ou élément détecteur de champ magnétique pouvant servir par exemple de magnéto-mètre pour mesurer
5 l'intensité d'un champ magnétique ou de boussole à induction terrestre pour indiquer la direction du champ magnétique terrestre, ou encore de dispositif de prise magnétique destiné à fournir une fonction de commande pour
10 produire une indication à distance ou assurer la direction automatique d'engins de navigation maritime ou aérienne.

Les dispositifs de ce genre sont constitués en général par un noyau en matière magnéti-
15 quement perméable, disposé de façon à être traversé par le champ magnétique, à mesurer et portant un enroulement d'excitation pouvant être excité par une source de courant alternatif, ainsi qu'un enroulement de sortie pouvant être
20 relié à un circuit de mesure ou de commande. Ces dispositifs sont déjà connus dans la technique et un exemple d'un tel appareil est décrit par exemple dans le brevet américain n° 2.053.154 du 27 mars 1935 qui montre
25 l'utilisation d'un pareil dispositif magnéto-mètre et d'un compas à induction terrestre.

D'autres dispositifs de ce type général utilisés pour constituer un compas à induction terrestre sont décrits dans les brevets américains
30 n° 2.261.309 déposé le 29 juin 1940 et

2.308.566 du 13 juin 1940 ainsi que dans la demande française de la demande resse datée du 21 mai 1946 et déposée sous le numéro 515.631.

Les dispositifs antérieurs décrits dans les brevets et la demande ci-dessus, sont basés sur 35 l'utilisation d'un noyau fermé unique en matière magnétiquement perméable comme dans le brevet américain ci-dessus, ou de plusieurs noyaux disposés de façon à s'étendre radialement autour d'un point commun, comme dans 40 le brevet américain n° 2.261.309 de la demande, chacun de ces noyaux ayant au moins deux branches pour former deux chemins de flux magnétiques parallèles pouvant être soumis à l'action du champ magnétique à mesurer. 45 Un enroulement alimenté en courant alternatif est monté sur chacune des branches, l'enroulement d'une branche étant connecté en série et en opposition par rapport à l'enroulement de l'autre branche. Un enroulement de sortie 50 à courant alternatif ou enroulement détecteur est ensuite enroulé sur le noyau, ce qui fait qu'une tension de seconde harmonique est engendrée dans cet enroulement de sortie, cette tension de sortie donnant une mesure de 55 l'intensité du champ détecté.

Bien que les dispositifs antérieurs mentionnés ci-dessus fonctionnaient d'une façon assez satisfaisante et permettaient d'atteindre les buts pour lesquels ils étaient construits, ils 60

présentaient du fait de leur nature même certains inconvénients qui ne les rendaient pas aussi efficaces ni aussi précis qu'on pouvait le désirer. Par exemple, ils étaient sujets à des erreurs
 5 causées par le magnétisme rémanent des noyaux, du fait que toutes les parties des noyaux n'étaient pas traversées par le flux de saturation alternatif produit par le courant d'excitation des enroulements d'alimentation et en conséquence
 10 ces dispositifs n'étaient pas entièrement satisfaisants, notamment lorsqu'il s'agissait de détecter ou de mesurer un champ magnétique relativement faible, tel que le champ terrestre.

Des erreurs supplémentaires étaient causées
 15 dans les dispositifs antérieurs par suite du fait que les noyaux étaient du type fermé et que la perméabilité de la matière magnétique n'était pas uniforme, en sorte que la perméabilité d'une branche était ou bien plus grande ou bien
 20 plus petite que celle de l'autre branche, ce qui produisait des inégalités de densité de flux dans les branches des noyaux sous l'action du courant d'excitation et, par conséquent, empêchait l'annulation complète des flux produits
 25 par les enroulements d'alimentation en l'absence du champ extérieur. L'annulation complète de ces flux est désirable pour empêcher la présence de la fréquence fondamentale et des harmoniques impaires du courant d'excitation dans les enroulements de sortie lorsqu'il
 30 n'y a aucun champ extérieur, notamment lorsqu'on emploie, pour servir de courant d'excitation, un courant continu pulsatoire au lieu d'un courant alternatif parce qu'il n'est
 35 pas possible de séparer la fréquence fondamentale produite par le flux d'excitation et la fréquence fondamentale produite par le flux du champ magnétique extérieur à mesurer.

En outre, dans les dispositifs antérieurs, il
 40 n'existe pas de relation linéaire entre la tension de sortie et l'intensité effective du champ magnétique à mesurer, étant entendu que la perméabilité de la plupart des matières ferromagnétiques utilisées dans ce but n'est pas
 45 constante. Par exemple le «mu-métal», bien qu'il possède quelques caractéristiques désirables, présente une variation de perméabilité allant d'une valeur initiale d'environ 14.000 au minimum à environ 61.500 au maximum, ce
 50 qui fait que ce métal est normalement inefficace pour produire une telle relation linéaire. Une relation linéaire entre la tension de sortie et

l'intensité effective du champ est toutefois extrêmement désirable lorsque le dispositif détecteur de champ magnétique doit servir
 55 de compas à induction terrestre, par exemple, compas dont le fonctionnement dépend d'une tension qui change avec le cosinus de l'angle que l'axe magnétique du dispositif fait avec la direction du champ terrestre. 60

En conséquence, l'un des buts de la présente invention consiste à créer un dispositif nouveau et perfectionné pouvant servir de détecteur de champ magnétique et dans lequel les inconvénients et les difficultés ci-dessus sont évités,
 65 de même que les erreurs constatées dans les dispositifs antérieurs sont sensiblement supprimées.

Un autre but de l'invention consiste à créer un type nouveau et perfectionné de dispositif
 70 détecteur électromagnétique à induction, qui soit plus sensible et plus précis que les dispositifs antérieurs de ce genre.

L'invention a pour objet un nouveau dispositif du genre spécifié, construit et disposé de
 75 telle sorte que la relation entre la tension de sortie du dispositif et l'intensité effective du champ magnétique mesuré ou détecté est sensiblement linéaire, en sorte que le dispositif convient particulièrement bien pour servir
 80 d'élément à induction terrestre ou de détecteur magnétique pour un compas magnétique à répétition ou à commande à distance.

Un autre objet de l'invention consiste en un nouveau dispositif détecteur de champ magnétique
 85 pouvant être utilisé pour indiquer l'intensité et ou la direction d'un champ magnétique soit seul soit en combinaison avec deux ou plus de dispositifs semblables disposés suivant une forme géométrique déterminée
 90 d'avance, de façon à produire plusieurs tensions de sortie, fonctions de l'intensité et de la direction du champ à mesurer et qui puissent être combinés ou utilisés séparément dans les buts d'indication ou de commande à distance. 95

Un autre objet de l'invention consiste en un nouveau dispositif détecteur de champ magnétique disposé avec deux autres dispositifs semblables en relation géométrique déterminée
 100 d'avance de façon à former un dispositif non dirigé ou n'ayant pas de direction préférentielle pour mesurer l'intensité d'un champ magnétique, quelle que soit l'orientation de ce dispositif dans le champ magnétique à mesurer.

L'invention a également pour objet un nouveau dispositif détecteur de champ magnétique agencé avec deux autres dispositifs semblables de telle sorte que tous trois sont mutuellement perpendiculaires et se coupent ou se bissectent entre eux pour former un dispositif non dirigé particulièrement adapté pour la mesure de l'intensité de chaep magnétique, en sorte que cette intensité peut être mesurée
 5 quelle que soit l'orientation de ce dispositif dans ce champ.

L'invention a encore pour objet un nouveau dispositif détecteur de champ magnétique comprenant un noyau allongé en matière magné-
 15 tiquement perméable, portant des enroulements d'entrée et de sortie et dans lequel le rapport entre sa longueur et la surface de sa section transversale soit telle que l'on obtienne sensiblement un rapport linéaire entre la
 20 tension de sortie et l'intensité effective du champ magnétique à mesurer.

L'invention a plus particulièrement pour objet un dispositif détecteur de champ magnétique comprenant un noyau allongé en matière
 25 magnétiquement perméable portant des enroulements d'entrée et de sortie, ce noyau étant tel que la relation entre la densité du flux et l'intensité du champ est représentée par l'équation suivante :

$$30 \quad B = H_0 \frac{u}{1 + Ku}$$

où B = densité de flux dans la matière magnétique,

H_0 = intensité du champ en l'absence de matière magnétique,

35 u = perméabilité de la matière magnétique, sa valeur initiale étant comprise entre 10.000 et 21.000 et sa valeur maxima étant comprise entre 61.500 et 105.000,

40 K = facteur de désaimantation ayant une valeur minima de 0,000321, la longueur dudit noyau étant inférieure à 122 fois la racine carrée de la surface de sa section transversale.

Les buts, avantages et caractéristiques ci-dessus de l'invention, ainsi que d'autres, seront exposés plus complètement dans la description
 45 détaillée qui va suivre, et dans laquelle on se référera aux dessins ci-joints, dans lesquels plusieurs modes de réalisation de l'invention sont représentés à titre d'exemple. Il est bien
 50 entendu, toutefois, que les modes de réalisation représentés dans les dessins ci-joints ne

sont donnés qu'à titre d'exemple explicatifs et non limitatifs, et que diverses modifications peuvent y être apportées dans le cadre de l'invention sans qu'on s'écarte du principe de celle- 55 ci.

Dans les dessins, dans lesquels les mêmes numéros de référence désignent les mêmes pièces dans les différentes figures :

La figure 1 est une vue schématique de l'un 60 des plus simples parmi les types connus de dispositifs détecteurs, qui n'est représenté ici que pour expliquer le principe de base de la présente invention;

La figure 2 est une vue schématique d'un 65 mode de réalisation de la présente invention;

La figure 3 est une vue schématique d'un autre mode de réalisation dans lequel les trois dispositifs détecteurs semblables suivant l'in-
 70 vention sont disposés de façon à former un ensemble détecteur triangulaire unique pouvant servir d'inducteur à champ terrestre pour un compas à induction terrestre du type décrit dans la demande antérieure de la demanderesse déjà mentionnée; 75

La figure 4 est une vue schématique d'un troisième mode de réalisation de l'invention comprenant l'utilisation de six dispositifs semblables disposés radialement à des distances
 80 angulaires uniformes autour d'un point central commun pour former un ensemble pouvant également servir d'inducteur à champ terrestre pour un compas à induction terrestre;

La figure 5 est une vue en perspective d'un autre mode de réalisation de l'invention, dans 85 lequel trois dispositifs détecteurs semblables sont disposés de façon à être mutuellement perpendiculaires entre eux et à s'entrecouper pour former un ensemble détecteur magné-
 90 tique unique non dirigé et convenant particulièrement bien pour servir de dispositif de mesure d'intensité de champ magnétique;

La figure 6 est une autre vue en perspective montrant la façon dont les éléments formant les
 95 noyaux des trois ensembles de la figure 5 sont combinés pour former un seul ensemble détecteur les enroulements d'entrée et de sortie de ces ensembles étant suprimés pour plus de clarté;

La figure 7 est un schéma montrant la rela- 100 tion entre les axes des trois dispositifs détecteurs perpendiculaires entre eux de la figure 5 par rapport à un champ magnétique à mesurer;

La figure 8 est un autre schéma montrant la relation entre les axes de trois ensembles détecteurs semblables et le champ magnétique à mesurer, lorsque ces ensembles se trouvent dans un plan commun, disposés radialement à des distances uniformes autour d'un centre commun;

La figure 9 est une vue schématique de l'un des trois ensembles détecteurs représentés dans la figure 5 et montrant comment les enroulements d'entrée et de sortie sont disposés sur ces ensembles; et

La figure 10 est un schéma des trois ensembles de la figure 5, les éléments formant les noyaux et les enroulements d'entrée étant supprimés, ce schéma montrant la façon dont les bobines de sortie peuvent être reliées à un type d'appareil de mesure d'intensité d'un champ magnétique.

La relation non linéaire entre la force d'aimantation et le flux magnétique, relation qui caractérise les matières dites ferro-magnétiques, est bien connue, mais pour mieux faire comprendre le principe se trouvant à la base de la présente invention, on se référera à la figure 1 des dessins. Si un noyau 11 en matière de ce genre, à perméabilité magnétique, porte un enroulement d'entrée ou enroulement d'excitation 15 et un enroulement de sortie ou enroulement secondaire 13, et si l'on fait passer dans l'enroulement d'excitation 12 un courant alternatif fourni par une source appropriée 14, le flux produit dans le noyau et inversé périodiquement, engendre dans la bobine de sortie 13 une tension alternative qui peut être indiquée par un voltmètre approprié 15. Cette théorie est bien connue; c'est celle d'un transformateur à noyau ouvert. Toutefois, lorsque le courant augmente, il se produit un état appelé saturation pendant le laps de temps pendant lequel le courant atteint ses valeurs maxima. Ceci a pour effet que des harmoniques s'ajoutent à la tension fondamentale engendrée dans la bobine de sortie. Si le courant de saturation est sinusoïdal et si la seule force magnétique agissant sur le noyau est le flux produit par ce courant, toutes les harmoniques seront des multiples impairs de la fréquence de base. Cela résulte du fait que le flux produit pendant l'alternance positive du courant d'excitation est le même que celui qui est produit lorsque le courant passe dans le sens inverse, sauf que sa pola-

rité est renversée. Lorsqu'un champ magnétique constant uni-directionnel, champ qui, ordinairement, n'induit aucun voltage dans la bobine de sortie, agit sur le noyau pendant qu'un courant alternatif de saturation passe dans l'enroulement d'excitation, les variations de flux correspondant aux alternances positives et aux alternances négatives de ce courant ne sont pas égales, du fait que pendant une alternance du courant d'excitation le flux ainsi produit est opposé au flux du champ constant, tandis que pendant l'autre alternance le flux du champ constant s'ajoute au flux produit par le courant d'excitation. Dans ces conditions, des harmoniques paires de la fréquence de base prennent naissance et, comme il est bien connu, les composantes de fréquence de base et des harmoniques impaires subissent des inversions de phase lorsque le sens du courant d'excitation change, ce qui n'est pas le cas avec les harmoniques paires.

Maintenant, si l'on emploie un noyau fermé ayant au moins deux branches, pour former deux trajets magnétiques parallèles, comme c'est le cas dans le brevet américain n° 2.053.154 mentionné plus haut, et si des enroulements d'alimentation distincts sont montés sur les deux branches, en série et en opposition de façon à ce que le courant passe dans des sens opposés dans ces deux enroulements, seules les tensions d'harmoniques paires seront induites dans la bobine de sortie, puisque les composantes de base et d'harmoniques impaires seront égales en amplitude, mais opposées en phase, en sorte qu'elles s'annuleront entre elles, tandis que les composantes d'harmoniques paires de chaque branche seront égales en amplitude et auront une relation de phase additive, ce qui augmente la tension de sortie, qui sera constituée par des harmoniques paires seulement, principalement les deuxièmes harmoniques.

Toutefois, la technique actuelle de la fabrication des matières ferro-magnétiques n'assure pas de caractéristiques magnétiques identiques de ces matières, même pas pour des parties adjacentes sur un seul échantillon, et, en conséquence, lorsqu'on emploie un seul anneau fermé en matière de ce genre, comme dans les dispositifs antérieurs, il n'est pas possible d'obtenir l'annulation complète des composantes de base et d'harmoniques impaires dans les deux branches du noyau, parce que la perméa-

bilité d'une branche peut être plus grande ou plus petite que celle de l'autre branche, ce qui fait que les voltages de base et d'harmoniques impaires d'une branche sont plus grands ou plus petits que ceux de l'autre branche.

De même lorsqu'on employait un seul noyau fermé à plusieurs branches parallèles, on a constaté qu'il n'existait pas de relation linéaire entre la tension de sortie du dispositif détecteur et l'intensité effective du champ magnétique à mesurer, ceci étant dû en partie au manque d'uniformité des caractéristiques magnétiques des deux branches et en partie au fait que lorsqu'un corps est aimanté temporairement il conserve une partie du magnétisme.

Conformément à la présente invention, on utilise une nouvelle construction dans laquelle les composantes de base et d'harmoniques impaires sont éliminées, seules les tensions d'harmoniques paires étant induites dans l'enroulement de sortie de dispositif, et cette construction étant telle qu'elle permet d'obtenir une relation sensiblement linéaire entre la tension de sortie et l'intensité effective du champ magnétique à mesurer. Un mode de réalisation de cette nouvelle construction est représenté dans la figure 2 et elle comprend, comme le montre cette figure, deux éléments de noyau espacés et parallèles formant deux barreaux 11a et 11b faits en matière magnétiquement perméable ayant des caractéristiques magnétiques sensiblement identiques, ces barreaux étant disposés de façon à être traversés par le champ magnétique uni-directionnel à mesurer. Sur chacun de ces éléments de noyau 11a et 11b sont enroulés respectivement des enroulements distincts d'entrée ou d'excitation 12a et 12b, qui sont montés en série et en opposition et excités par un courant alternatif fourni par une source appropriée, telle que la source 14 représentée dans la figure 1 et pouvant être un alternateur, c'est-à-dire une génératrice de courant alternatif, ou un oscillateur. Également un enroulement de sortie ou enroulement secondaire 13 est enroulé autour des deux noyaux 11a, 11b comme si ces éléments ne formaient qu'une seule unité, cet enroulement secondaire entourant les enroulements d'excitation 12a et 12b. L'enroulement de sortie 13 peut être relié ensuite à l'instrument de mesure 15, qui peut être un millivoltmètre si la tension engendrée n'est pas

amplifiée, ou un voltmètre si l'on emploie une amplification. Ainsi, en combinant deux noyaux identiques et en utilisant sur ces noyaux des bobines d'excitation identiques, mais distinctes, et en montant ces bobines en série et en opposition, le courant passe dans ces bobines dans des sens opposés et, en conséquence, seules les tensions d'harmoniques paires sont induites dans l'enroulement de sortie 13, les composantes de base et d'harmoniques impaires de chaque noyau étant égales en amplitude et opposées en phase, tandis que les composantes d'harmoniques paires sont égales en amplitude et en relation de phase additive. L'amplitude et la polarité des harmoniques paires seront déterminées par la grandeur et la direction relative du champ magnétique constant uni-directionnel qu'il s'agit de mesurer, ces facteurs déterminant le point de fonctionnement de la courbe de magnétisation.

Il convient de remarquer expressément que les enroulements d'excitation 12a et 12b doivent être enroulés sur leurs noyaux 11a et 11b respectifs de façon à les recouvrir complètement pour assurer la saturation de toute la matière magnétique de ces noyaux, ce qui empêche ceux-ci d'être aimantés par tout champ extérieur qui peut être mesuré. En d'autres termes, le magnétisme rémanent qui pourrait avoir été produit dans ces noyaux par le champ extérieur est empêché de rester dans ces noyaux. Cela signifie que le point de fonctionnement de la courbe d'aimantation des noyaux n'est déplacé que lorsqu'une force magnétique autre que celle qui est produite par le courant de saturation agit sur ces noyaux, éliminant ainsi les erreurs dues à la rémanence.

Ainsi qu'on l'a déjà dit, la technique actuelle de fabrication n'assure pas de caractéristiques magnétiques identiques des matières ferromagnétiques connues, mais l'utilisation de deux noyaux distincts conformément à la présente invention, comme cela est représenté dans la figure 2, permet d'assortir les deux noyaux de façon que l'on puisse en obtenir deux ayant des caractéristiques magnétiques sensiblement identiques.

Ainsi qu'on l'a déjà dit également plus haut, il est extrêmement désirable et dans certains cas nécessaires qu'il existe une relation linéaire entre la tension de sortie du dispositif et l'in-

tensité effective du champ magnétique à mesurer. Ainsi lorsque le dispositif suivant l'invention sert d'élément détecteur de champ magnétique dans un magnétomètre, la tension de sortie de la bobine 13, lue sur le voltmètre 15, est proportionnelle à l'intensité effective de ce champ, et lorsqu'il sert comme détecteur de direction du champ terrestre dans un compas à induction ou comme dispositif détecteur dont le fonctionnement dépend de la tension de sortie qui varie suivant le cosinus de l'angle que l'axe magnétique du dispositif détecteur fait avec la direction du champ magnétique, tel que le champ terrestre, par exemple, Dans ces deux cas cette relation linéaire devient nécessaire.

Toutefois, une telle relation linéaire n'a pas pu être obtenue jusqu'à présent, parce que la perméabilité de la plupart des matières ferromagnétiques connues n'est pas constante, mais change à partir d'une valeur initiale, jusqu'à une valeur maxima, ainsi qu'on peut le voir par le tableau suivant établi pour un alliage «Permalloy» Molybdène 3,8-78,5 (3,8 % de molybdène, 78,5 % de nickel, 17,7 % de fer), un alliage «Permalloy» chrome 3,8-78,5 (3,8 % de chrome, 78,5 % de nickel, 17,7 % de fer), un Mu-métal et un alliage «Permalloy» (78,5 % de nickel et 21,5 % de fer).

MATIÈRE.	PERMÉABILITÉ		DENSITÉ DU FLUX de saturation en gauss.
	INITIALE.	MAXIMA.	
3.8-78.5 Mo. «Permalloy»	21.000	71.000	8.800
3.8-78.5 Cr. «Permalloy»	14.000	63.000	8.000
«Mu-métal»...	14.000	61.500	6.250
78.5 «Permalloy»	10.000	105.000	10.800

On verra par le tableau ci-dessus, qui a été établi d'après des renseignements contenus dans la publication technique de la Société Bell Telephone Company intitulée «Bell Telephone System technical publication» monographie B-908, par G. W. Elmon (1935), page 17, tableau III, et par une feuille de données fournies par la Société Allegheny-Ludnum Steel Corporation, que c'est le «Mu-métal» qui se sature avec la densité de flux la plus basse, et ceci est un avantage décisif dans certains cas, lorsqu'on désire que la puissance

d'excitation soit plus petite pour faire fonctionner le dispositif détecteur suivant l'invention. L'alliage «Permalloy» 3,8-78,5 se sature le plus brusquement et, en conséquence, un dispositif détecteur ayant des noyaux faits avec cette matière donnera un voltage de sortie un peu plus grand qu'un dispositif ayant des noyaux faits avec d'autres matières.

On montrera maintenant qu'en satisfaisant à certaines conditions exigées suivant la présente invention, on peut faire en sorte que l'écart de la caractéristique de la perméabilité des matières des noyaux d'une relation linéaire soit rendu négligeable dans certaines conditions de fonctionnement désirées.

On sait que lorsqu'un corps susceptible d'être aimanté est aimanté par induction, le magnétisme induit affaiblit le champ qui le produit. Voir la page 37 de l'ouvrage intitulé «Magnetic Phenomena» (Les phénomènes magnétiques) par S. R. Williams, première édition (1931), publié par la Société Mc Graw-Hill Book Company, Inc. New-York et Londres. En conséquence, il faut tenir compte de ce fait pour déterminer l'intensité effective du champ magnétique et, par suite, il faut pour cela modifier l'équation $H = \frac{B}{\mu}$ de la façon suivante :

$$H = H_0 = KB \quad (1)$$

$$H = \text{le champ effectif ou } \frac{B}{\mu} \quad 70$$

μ = perméabilité

H_0 = intensité du champ en l'absence de matière magnétique

B = densité du flux dans la matière

K = facteur de désaimantation

En transposant l'équation (1) on obtient

$$H_0 = H + KB \quad (2)$$

Et en remplaçant B par μH dans l'équation (2)

on a

$$H_0 = H (1 + K\mu) \quad (3) \quad 80$$

et, en divisant les deux membres de l'équation (3) par $(1 + K\mu)$ on a

$$H = \frac{H_0}{1 + K\mu} \quad (4)$$

Puis, en multipliant les deux membres de l'équation (4) on obtient finalement

$$\mu H = H_0 \frac{\mu}{1 + K\mu} = B \quad (5) \quad 85$$

Ainsi, l'équation (5) montre que le rapport entre B et H_0 dépend de $\frac{\mu}{1 + K\mu}$. Le facteur de

démagnétisation K est une constante déterminée dans une large mesure par le rapport entre la longueur et le diamètre $\frac{L}{D}$ de la matière lorsqu'elle n'est pas saturée. Des valeurs de K pour différentes conditions ont été déterminées par Schuddemagen et d'autres et on les trouve dans « International Critical Tables » (Tableaux critiques internationaux). Voir aussi page 211 de « Magnetic Phenomena » (Les phénomènes magnétiques) de Williams, où l'auteur a donné des tableaux pour les valeurs de K pour les rapports $\frac{L}{D}$ de 10 à 200 pour des tiges de 3,18 mm de diamètre et de 6 à 19 mm de diamètre.

Voici une partie de ces tableaux montrant les valeurs de K pour des rapports $\frac{L}{D}$ de 10 à 200 respectivement, lorsque l'échantillon de matière magnétique est constitué par une tige de 3,18 mm de diamètre.

$\frac{L}{D}$	K.
10	0.0175
15	0.0093
20	0.0059
25	0.0041
30	0.00304
35	0.00235
40	0.00186
45	0.00152
50	0.00127
60	0.00091
70	0.00069
80	0.00055
90	0.000445
100	0.000366
125	0.000247
150	0.000177
175	0.000132
200	0.000103

En examinant l'équation (5) on verra que l'on peut obtenir une relation sensiblement linéaire suivant la présente invention en faisant le noyau du dispositif détecteur de champ magnétique en une matière magnétique ayant des valeurs initiale et finale de perméabilité choisies d'avance et en dimensionnant ce noyau de telle sorte que le rapport entre sa longueur et son diamètre ou la surface de sa section transversale donne pour Ku une valeur importante comparée à l'unité.

On peut déterminer facilement l'étendue de la relation linéaire entre la tension de sortie

et l'intensité effective du champ à mesurer en déterminant le rapport entre la tension de sortie correspondant à la perméabilité maxima et la tension de sortie correspondant à la perméabilité minima à l'aide de l'équation (5) de la façon suivante :

$$H_o \frac{u_m}{1 + Ku_m} = r H_o \frac{u_o}{1 + Ku_o} \quad (6)$$

H_o s'annule, puisqu'il apparaît dans les deux membres de l'équation. On a donc :

$$r = \frac{u_m}{u_o} \cdot \frac{1 + Ku_o}{1 + Ku_m} \quad (7)$$

où :

u_o = perméabilité initiale de la matière du noyau

u_m = perméabilité maxima de la matière du noyau

K = facteur de désaimantation

r = rapport entre la tension de sortie correspondant à la perméabilité maxima et la tension de sortie correspondant à la perméabilité initiale.

A titre d'exemple, si la matière magnétique employée pour les noyaux est l'alliage de « Permalloy » à molybdène 3,8-78,5 on peut déterminer la valeur que le rapport $\frac{L}{D}$ doit avoir pour que l'on obtienne une relation linéaire à + 5 % près ($r = 1,1$) en employant l'équation (7) et en y introduisant les valeurs de perméabilité de cet alliage de « Permalloy » de la façon suivante :

$$1.1 = \frac{71000}{21000} \cdot \frac{1 + 21000K}{1 + 71000K}$$

$$K = 0.000321.$$

On trouve alors, dans le tableau montrant le rapport $\frac{L}{D}$ pour différentes valeurs de K, que pour K = 0,000321 le rapport $\frac{L}{D}$ est égal à 108.

De façon similaire, en utilisant l'équation (7) pour l'alliage de « Permalloy » au chrome 3,8-78,5, le « Mu-métal » et l'alliage « Permalloy » 78,5 on trouvera les valeurs suivantes de K et de $\frac{L}{D}$ pour un écart maximum admissible de + 5 % de la relation linéaire.

MATIERE.	K.	$\frac{L}{D}$
3.8-78.5 Cr. « Permalloy » . . .	0.000539	81
« Mu-métal »	0.000614	75
78.5 « Permalloy »	0.000895	60

On voit donc que pour un écart maxima tolérable de $\pm 5\%$ par rapport à la relation linéaire, écart dû à la variation de perméabilité des matières citées ci-dessus, K varie de 0,000321 à 0,000895, tandis que $\frac{L}{D}$ varie de 60 à 108. Comme un écart de $\pm 5\%$ de la relation linéaire est probablement la plus grande erreur qui puisse être tolérée dans un dispositif pratique servant à mesurer l'intensité d'un champ magnétique ou à indiquer la direction de ce champ, le rapport $\frac{L}{D}$ doit être inférieur à 108.

En appliquant l'équation (7) et en utilisant le tableau des rapports $\frac{L}{D}$ et des valeurs de K, on verra qu'un rapport approprié $\frac{L}{D}$ pour l'erreur minima de relation linéaire pour chacune des matières citées plus haut est le suivant :

MATIÈRE.	$\frac{L}{D}$	ERREUR DE RELATION linéaire en pourcents.
3.8.-78.5 Mo. « Permalloy » ..	30	± 0.60
3.8.-78.5 Cr. « Permalloy » ...	30	± 0.80
« Mu-métal »	30	± 0.95
78.5 « Permalloy »	30	± 1.50

Si l'on utilise une matière magnétique ayant une perméabilité relativement faible, par exemple une perméabilité initiale d'environ 1.000 et une perméabilité maxima d'environ 2.000, et si l'on prend le rapport $\frac{L}{D} = 60$, on verra que l'erreur par rapport à la relation linéaire sera de $\pm 18\%$. Le calcul est le suivant :

$$r = \frac{2000}{1000} \times \frac{1 + .0009 \times 10000}{1 + .0009 \times 2000} = \frac{2}{1} \times \frac{1 + 0.9}{1 + 1.8} = \frac{2 \times 1.9}{2.8} = 1.36.$$

Ainsi, l'écart total de la relation linéaire est de 36 % ou $\pm 18\%$.

Il est clair, d'après la solution précédente, que K_u doit être grand comparé à l'unité, pour qu'il existe une relation linéaire entre la tension de sortie et l'intensité effective du champ. Ceci se vérifie en outre en appliquant l'équation (7) à l'alliage de « Permalloy » à molybdène ayant une perméabilité initiale de 21.000 et une per-

meabilité maxima de 71.000, et en utilisant un rapport $\frac{L}{D} = 30$, K étant égal à 0,003. Le calcul est le suivant :

$$r = \frac{71000}{21000} \times \frac{1 + .003 \times 21000}{1 + .003 \times 71000} = \frac{71}{21} \times \frac{1 + 6.3}{1 + 21.3} = \frac{71 \times 6.4}{21 \times 21.4} = 1.012$$

ce qui donne une erreur totale de 1,2 % seulement ou une erreur de $\pm 0,6\%$.

Pratiquement et comme le montrent les dessins, les éléments constituant les noyaux ne sont pas des tiges rondes; ils ont une section transversale rectangulaire et chaque noyau 11a est constitué par deux lames ayant chacune une longueur de 10,3 cm, une épaisseur de 0,038 cm et une largeur de 0,228 cm. Ces lames sont faites en « Mu-métal » ayant une perméabilité initiale de 14.000 et une perméabilité maxima de 61.500. L'enroulement secondaire ou bobine de sortie 13 a 1.200 spires.

La surface totale de la section transversale des deux noyaux (4 lames) est la suivante :

Surface = $4 \times 0,038 \times 0,228 = 0,0348 \text{ cm}^2$ mais surface = $\frac{\pi D^2}{4} = 0,0348 \text{ cm}^2$, D étant le diamètre équivalent.

On a donc :

$$D^2 = \frac{4 \times 0,0348}{3,1416} = \sqrt{1,27 \times 0,0348}$$

$$D = 0,21 \text{ cm.}$$

$$\frac{L}{D} = \frac{10,3}{0,21} = 48,3$$

On trouve alors, dans le tableau donnant les valeurs de K pour différents rapports $\frac{L}{D}$ que K = 0,0014 pour un rapport de 48,3.

Maintenant, en appliquant l'équation (7) :

$$r = \frac{61500}{14000} \times \frac{1 + .0014 \times 14000}{1 + .0014 \times 61500} = \frac{615}{140} \times \frac{1 + 19.6}{1 + 86.1} = \frac{615 \times 20.6}{140 \times 87.1} = 1.038.$$

Ainsi, l'écart total de la relation linéaire dans le dispositif détecteur magnétique tel que construit effectivement pour servir de magnétomètre n'est que 3,8 % ou $\pm 1,9\%$. Une pareille erreur est pratiquement négligeable.

On peut déterminer la tension de sortie de la bobine 13 d'après l'équation suivante, qui est bien connue.

$$\text{où : } E = 4.44 N A B f 10^{-8} \quad (8)$$

E = la tension d'harmonique deuxième;
 N = le nombre de spires de la bobine de sortie 13;

A = la surface de la section transversale du
 5 noyau en centimètres carrés;

B = la densité du flux dans le noyau lorsque le courant d'excitation est égal à zéro (flux induit par le champ à mesurer);

f = deux fois la fréquence d'excitation.

10 En substituant la valeur de B de l'équation (5) dans l'équation (8) on a :

$$E = 4.44 N A \frac{(H_c - u_c)}{(1 + K u_c)} F 10^{-8} \quad (9)$$

En conséquence, pour un champ magnétique de 0,17 gauss et en utilisant un courant d'excitation ayant une fréquence de 400 périodes, la
 15 tension d'harmonique deuxième dans la bobine de sortie 13 doit être :

$$E = 4.44 \times 1200 \times 0.0348 \frac{14000}{(6 + 0.0014 \times 14000)} 800 \times 10^{-8} = 0.173 \text{ volts (eff)}$$

20 On remarquera que le courant qui passe dans la bobine de sortie ne doit pas être en phase avec le courant d'excitation de base, parce que cette égalité de phase produirait une action réciproque connue sous le nom de « redressement
 25 du flux ». Pour le fonctionnement normal, les crêtes et les vallées de la composante de la tension de la deuxième harmonique dans la bobine de sortie 13 apparaissent à 45°, 135° et 315° de l'onde du courant d'excitation et, en consé-
 30 quence, si la bobine est shuntée par un condensateur de mise en phase de la grandeur voulue, et si la résistance en courant alternatif du circuit de sortie est petite, un courant intense d'har-
 35 monique deuxième sera en phase en sorte que, lorsqu'il augmente pendant une période, les éléments de noyau 11a, 11b sont saturés par le courant d'excitation. Lorsqu'il augmente dans le
 40 sens opposé, le courant d'excitation est inférieur à la saturation, de sorte qu'on voit apparaître une composante de flux à une seule direction qui
 45 seconde le champ extérieur (H_0). De même, lorsque la bobine de sortie 13 est accordée en résonance, la tension de sortie est plus affectée par les petites variations produites dans l'induc-
 50 tance par une variation de la perméabilité des noyaux 11a, 11b. Lorsque le dispositif détecteur se termine par une charge inductive et, ou à ré-
 55 sistance, le courant qui circule est ordinairement tellement petit et sa phase est telle que son effet
 60 sur les noyaux est négligeable.

Suivant une autre caractéristique de l'inven-
 tion, l'élément détecteur de champ magnétique
 représenté dans la figure 2 peut être combiné
 avec plusieurs unités semblables, de la façon re-
 présentée dans les figures 3 et 4 pour former un
 50 ensemble complexe unique servant d'élément à
 détection terrestre pour un compas à induction
 terrestre du type montré dans la demande de
 brevet déjà citée plus haut.

Dans la figure 3 les bobines de sortie 13 des
 55 trois éléments de détecteur sont montées en
 triangle aux points 16, 17 et 18 pour former un
 circuit de sortie du type triphasé avec les fils de
 sortie 19, 20 et 21, tandis que dans la figure 4
 six éléments sont montés en trois groupes de
 60 deux, les deux éléments de chaque groupe étant
 diamétralement opposés. Les bobines de sortie
 de chaque groupe de deux éléments sont montées
 en étoile en un point commun 22 pour former
 un circuit de sortie du type triphasé avec les fils
 65 23, 24 et 25. Dans les deux figures 3 et 4 les
 enroulements d'excitation 12a et 12b de chaque
 élément sont montés en série avec les enroule-
 ments d'excitation de chacun des deux autres
 éléments et, comme on l'a dit précédemment, les
 70 bobines d'excitation de chaque élément sont
 montées en série et en opposition.

Dans les figures 3 et 4, la tension de sortie de
 chaque élément varie comme le cosinus de l'angle
 que l'axe magnétique de l'élément fait avec le
 75 champ terrestre.

Suivant une autre caractéristique de l'inven-
 tion, l'élément détecteur de champ magnétique
 de la figure 2 est combiné avec deux autres élé-
 ments identiques de la façon indiquée dans les
 80 figures 5 à 8 et 10, pour former un dispositif
 complexe non dirigé mesurant l'intensité d'un
 champ magnétique tel que le champ terrestre,
 par exemple sans que le dispositif soit orienté
 par rapport à ce champ. Comme le montre la
 85 figure 6, le dispositif non dirigé est constitué
 par trois éléments détecteurs du type représenté
 dans la figure 2 et disposés mutuellement à
 angles droits les uns par rapport aux autres, ces
 noyaux se coupant de la façon représentée dans
 90 la figure 5 et les trois éléments étant montés
 symétriquement autour d'un point central com-
 mun de façon à ne pas réagir les uns sur les
 autres, parce que le champ magnétique de
 chaque élément fait un angle droit avec des
 95 champs des autres éléments.

Pour obtenir la disposition symétrique dé-

siée, on enroule la bobine de sortie de chaque élément en deux sections 13a et 13b, comme le montre la figure 9, de façon à laisser entre les sections un espace dans lequel s'engagent les autres éléments qui sont perpendiculaires entre eux, ces sections de bobines 13a et 13b étant montées en série et en addition, mais chaque paire étant indépendante des autres paires, de façon à former trois circuits de sortie distincts avec des fils de sortie appropriés de la façon représentée dans la figure 10.

Comme le montre la figure 6, les sections de bobines de sortie 13a et 13b sont disposées de façon que la face intérieure de chacune d'elles forme un cube creux avec les faces intérieures des autres sections de bobines. Cette disposition permet d'employer des noyaux constitués par des pièces utilisées sur toute leur longueur.

Dans la figure 7, la ligne en traits interrompus NS représente le champ magnétique extérieur qui est mesuré et les trois éléments détecteurs de la figure 6 sont représentés par les trois axes perpendiculaires entre eux X-X¹, Y-Y¹ et Z-Z¹. Le champ effectif qui agit sur chaque élément est celui des composantes du champ extérieur NS qui est parallèle à cet élément. Comme la tension de sortie de chaque élément est, suivant la présente invention, en relation linéaire avec l'intensité du champ, la tension de sortie de chaque élément sera la suivante :

$$e_x = E \cos \angle NOX \quad (10)$$

$$e_y = E \cos \angle NOY \quad (11)$$

$$e_z = E \cos \angle NOZ \quad (12)$$

où E est la tension lorsque l'axe de chaque élément est parallèle au champ extérieur NS.

Or on sait, par la trigonométrie des solides, que la relation suivante existe entre les fonctions trigonométriques des angles NOX, NOY et NOZ :

$$\cos^2 \angle NOX + \cos^2 \angle NOY + \cos^2 \angle NOZ = 1 \quad (13)$$

et par conséquent :

$$e_x^2 + e_y^2 + e_z^2 = E^2 \quad (14)$$

E² est une constante pour toute intensité de champ donnée et l'on peut par conséquent mesurer l'intensité du champ NS en mesurant E² quelle que soit l'orientation de l'élément détecteur complexe dans ce champ.

On peut mesurer l'intensité de la composante du champ dans un plan formé par deux éléments

faisant un angle droit entre eux très sensiblement de la même manière parce qu'on sait que :

$$\cos^2 \angle NOX + \cos^2 \angle NOY = 1 \quad (15)$$

lorsque $\cos \angle NOX + \cos \angle NOY = 90^\circ$.

L'agencement du dispositif détecteur complexe à trois éléments n'est pas limité à celui dans lequel il y a un élément dans chacun des trois axes perpendiculaires entre eux, comme c'est représenté dans la figure 5, à condition que l'on puisse éviter toute action réciproque entre les trois éléments.

En conséquence, suivant une autre caractéristique de l'invention, on a représenté schématiquement dans la figure 8 un mode de réalisation dans lequel trois éléments se trouvent dans un plan commun et sont disposés de façon à s'étendre radialement vers l'extérieur à partir d'un point commun O en étant espacés angulairement de 120°.

Dans la figure 8, AO, BO et CO représentent les trois éléments détecteurs distincts disposés de la façon décrite plus haut et la ligne en traits interrompus NS représente le champ magnétique extérieur à mesurer. La tension de sortie de chaque élément sera la suivante :

$$e_a = E \cos \angle NOA \quad (16)$$

$$e_b = E \cos \angle NOB \quad (17)$$

$$e_c = E \cos \angle NOC \quad (18)$$

où E est encore la tension lorsque l'axe de chaque élément est parallèle au champ extérieur. En conséquence :

$$e_a^2 + e_b^2 + e_c^2 = 1.5 E^2 \quad (19)$$

La somme des voltages distincts des équations (14) et (19) peut être mesurée de différentes façons dont l'une est représentée dans la figure 10 et va être décrite.

On sait que dans une charge à résistance la puissance est proportionnelle au carré de la tension et, par conséquent, en additionnant les carrés des tensions des trois éléments on obtiendra une somme qui sera proportionnelle à l'intensité du champ extérieur à mesurer. Suivant une caractéristique finale de la présente invention, la figure 10 représente un mode de réalisation au moyen duquel les carrés des voltages des trois éléments peuvent être additionnés et leur somme peut être indiquée.

Dans la figure 10 on n'a représenté que les

bobines de sortie 18a et 18b de chaque élément et celles d'un élément sont reliées à une bobine 26 d'un appareil de chauffage à résistance, celles du deuxième élément sont reliées à une autre bobine 27 d'un appareil de chauffage à résistance, et celles du troisième élément sont reliées à une troisième bobine 28 d'un appareil de chauffage à résistance. La chaleur dégagée par chaque bobine d'appareil de chauffage est proportionnelle au carré du voltage et, par conséquent, si l'on mesure la chaleur produite par chaque appareil de chauffage, la somme sera proportionnelle au carré de la tension totale (E^2).

En conséquence, des moyens sont prévus pour additionner la chaleur produite par chacune des bobines de chauffage en question 26, 27 et 28 et indiquer la somme en unités de l'intensité du champ extérieur à mesurer. Comme le montre la figure 10, ces moyens comprennent trois thermocouples 29, 30 et 31 qui sont montés respectivement en relation de transfert de chaleur avec chacune des bobines de chauffage 26, 27 et 28, de la façon représentée. Par suite de l'action de la chaleur de chaque bobine de chauffage sur son élément thermique conjugué, celui-ci engendre un courant qui est proportionnel à la chaleur de la bobine conjuguée et, par conséquent, au carré de la tension qui engendre la chaleur. En reliant ces éléments thermiques en série entre eux et avec un ampèremètre 32, on obtient ce résultat que les courants sont additionnés entre eux et que leur somme totale est indiquée sur cet ampèremètre 32, qui peut être étalonné pour l'indiquer en termes de l'intensité du champ.

Il convient de remarquer que bien que les dispositifs détecteurs magnétiques complexes ont été décrits et représentés de telle façon que leurs éléments individuels se coupent entre eux, cette condition n'est pas nécessaire tant que le champ à mesurer est égal en direction et en intensité à l'endroit où se trouve chaque élément et qu'il n'y a aucune réaction entre les éléments.

L'invention crée ainsi un nouveau dispositif électromagnétique à induction ou dispositif détecteur de champ magnétique qui peut servir de magnétomètre ou de boussole à inducteur terrestre ou de dispositif détecteur de champ magnétique pour produire un signal de commande dans le but d'indication ou de commande à distance, et un dispositif dans lequel il existe une relation sensiblement linéaire entre la tension de sortie et l'intensité effective du champ magné-

tique, ce qui améliore sensiblement la sensibilité et la précision du dispositif, la relation linéaire étant établie par l'utilisation de matières magnétiquement perméables ayant les caractéristiques magnétiques désirées pour faire les éléments formant les noyaux, et en donnant à ces noyaux des dimensions telles qu'il s'établisse un rapport déterminé d'avance entre la longueur et le diamètre ou la surface de la section transversale des éléments formant les noyaux.

L'invention fournit également un dispositif détecteur magnétique composé de plusieurs ensembles ou éléments détecteurs composants suivant l'invention disposés suivant une relation géométrique prédéterminée grâce à quoi le dispositif détecteur peut être utilisé comme un élément inducteur d'un compas à induction terrestre et si les ensembles composants sont agencés suivant une relation géométrique différente, le dispositif résultant peut avoir une disposition non directionnelle permettant de mesurer l'intensité d'un champ magnétique indépendamment de l'orientation de ce dispositif dans ce champ.

Bien que plusieurs formes de réalisation de l'invention aient été décrites et représentées, diverses modifications et changements dans la forme et la disposition relative des parties évidentes à tout homme de l'art peuvent y être introduits sans s'écarter de l'esprit de l'invention ni sortir de son domaine.

RÉSUMÉ.

La présente invention a pour objet un dispositif électro-magnétique à induction ou détecteur de champ magnétique perfectionné, comprenant un noyau allongé, en matière magnétiquement perméable, destiné à être traversé par un champ magnétique unidirectionnel et muni d'un enroulement d'entrée et d'un enroulement de sortie dont le premier est connecté à une source de courant périodiquement variable en vue de son excitation afin de produire une saturation périodique dudit noyau, grâce à quoi une tension alternative est induite dans le deuxième enroulement par ce champ magnétique unidirectionnel, ce dispositif étant caractérisé notamment par les points suivants, pouvant être pris séparément et en toute combinaison :

1° Le noyau du dispositif détecteur a des caractéristiques magnétiques et un rapport entre sa longueur et sa section transversale prédéterminés et choisis de façon à assurer une relation

sensiblement linéaire entre la tension de sortie et l'intensité dudit champ magnétique unidirectionnel;

2° Le noyau du dispositif détecteur porte un enroulement d'excitation assurant la saturation périodique de ce noyau sur toute sa longueur;

3° La perméabilité du noyau magnétique utilisé a des valeurs minimum et maximum prédéterminées et un tel rapport entre sa longueur et sa section transversale qu'une relation sensiblement constante est maintenue entre la tension de sortie et l'intensité du champ magnétique unidirectionnel à mesurer;

4° La tension induite dans l'enroulement de sortie du dispositif détecteur est une tension de la deuxième harmonique du courant d'excitation;

5° Le noyau magnétique utilisé satisfait aux conditions suivantes : a. la valeur de la perméabilité initiale est comprise entre 10.000 et 21.000 Gauss; b. la valeur de la perméabilité maximum est comprise entre 61.500 et 105.000 Gauss; c. le rapport de la longueur au diamètre équivalent de la section transversale est compris entre 30 : 1 et 60 : 1;

6° La section transversale du noyau magnétique est telle que, pour l'intensité maximum du champ magnétique unidirectionnel, ce noyau n'approche pas son point de saturation;

7° La densité du flux dans le noyau pour l'intensité maximum du champ unidirectionnel est égale ou inférieure à 60 % de celle de la saturation;

8° Le noyau magnétique comprend un ensemble de deux barreaux parallèles espacés ayant des caractéristiques magnétiques sensiblement identiques et munis des enroulements d'entrées séparées sur chacun des barreaux, ces enroulements étant connectés en série et en opposition et d'un enroulement de sortie commun enroulé autour des deux barreaux pris comme unité;

9° Le dispositif détecteur comporte plusieurs ensembles tels que définis dans le paragraphe 8°, ces ensembles étant disposés d'après une figure géométrique déterminée avec leurs enroulements

d'entrée reliés à une source commune de courant périodiquement variable, grâce à quoi une tension alternative est produite dans l'enroulement de sortie de chacun des tels ensembles par les composantes correspondantes du champ unidirectionnel agissant sur les barreaux magnétiques des ensembles respectifs;

10° Le dispositif détecteur comprend trois ensembles tels que définis dans les paragraphes 8° et 9° disposés en triangle;

11° Le dispositif détecteur comporte trois ensembles tels que définis dans les paragraphes 8° et 9° disposés perpendiculairement les uns aux autres suivant trois axes perpendiculaires entre eux;

12° Le dispositif détecteur comporte plusieurs ensembles tels que définis dans les paragraphes 8° ou 9°, qui sont disposés suivant les directions radiales espacées uniformément autour d'un point central commun;

13° Le dispositif détecteur comporte des moyens pour combiner de façon additive les tensions de sortie des différents ensembles formant le détecteur, en vue de produire une quantité totale d'énergie proportionnelle à la somme des carrés desdites tensions et des moyens pour indiquer cette quantité totale d'énergie en unités d'intensité du champ magnétique à mesurer;

14° Le dispositif détecteur comporte plusieurs dispositifs générateurs d'énergie correspondant au nombre d'ensembles suivant le paragraphe 8° formant le détecteur et connectés aux enroulements de sortie de ces ensembles, des moyens pour chacun de ces générateurs d'énergie pour convertir l'énergie produite par ces dispositifs en courants continus, un circuit additionnant les courants de tous les ensembles formant le détecteur et des moyens indicateurs incorporés dans ledit circuit pour indiquer la somme totale de courants en unités d'intensité du champ magnétique.

Société dite : BENDIX AVIATION CORPORATION.

Par procuration :

B. DEVILLE.

Hydrovalve

FIG. 1.

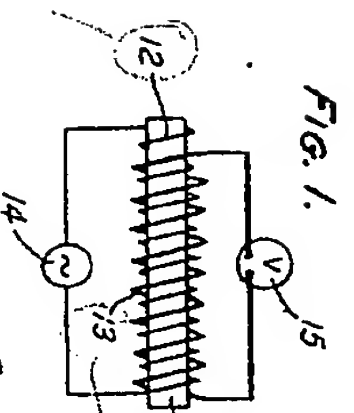


FIG. 2.

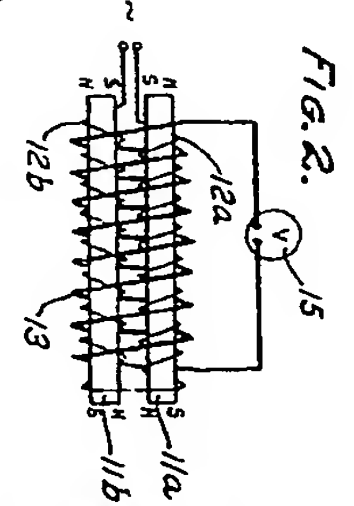


FIG. 3.

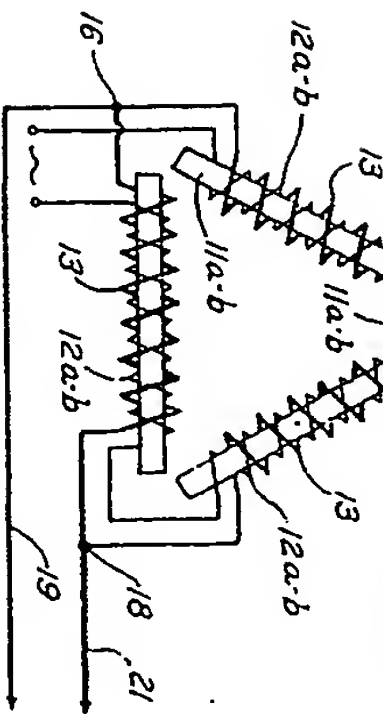


FIG. 5.

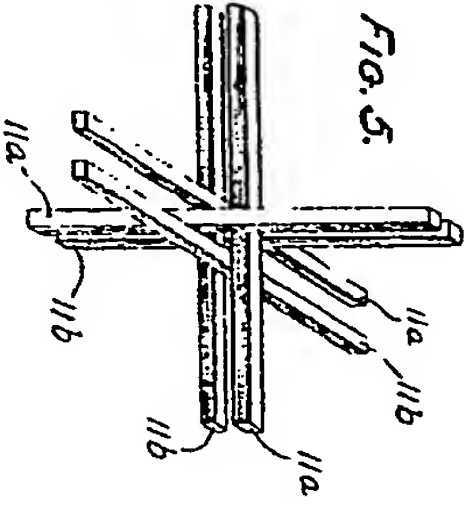


FIG. 6.

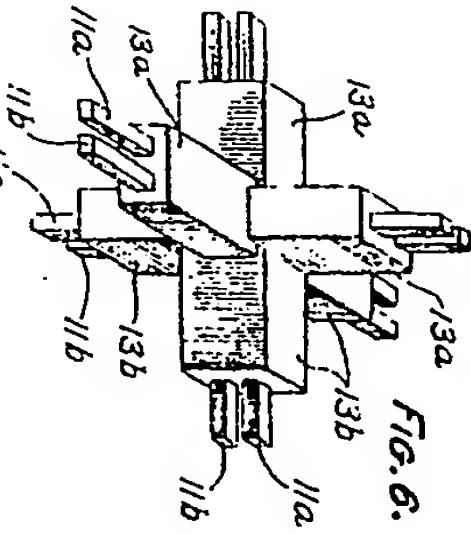


FIG. 7.

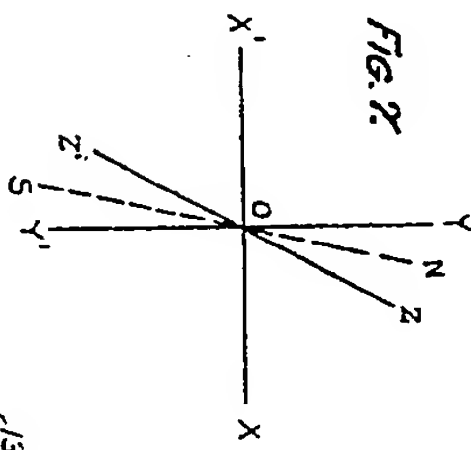


FIG. 8.

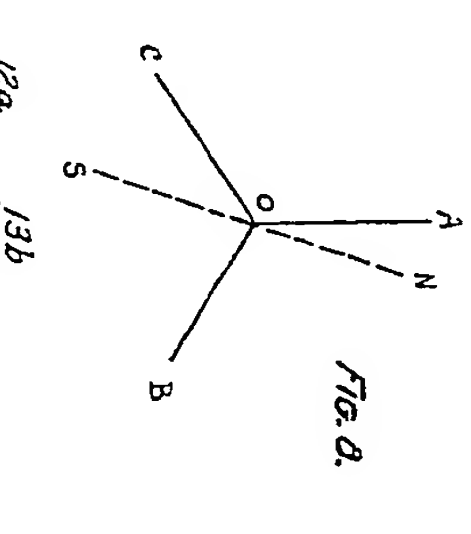


FIG. 9.

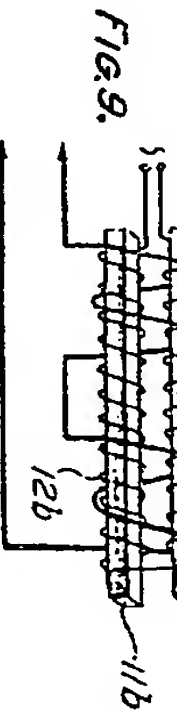


FIG. 10.

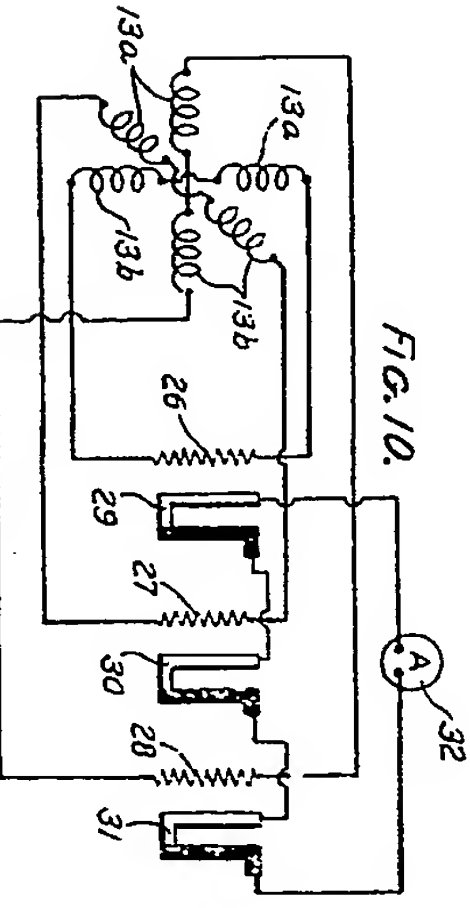
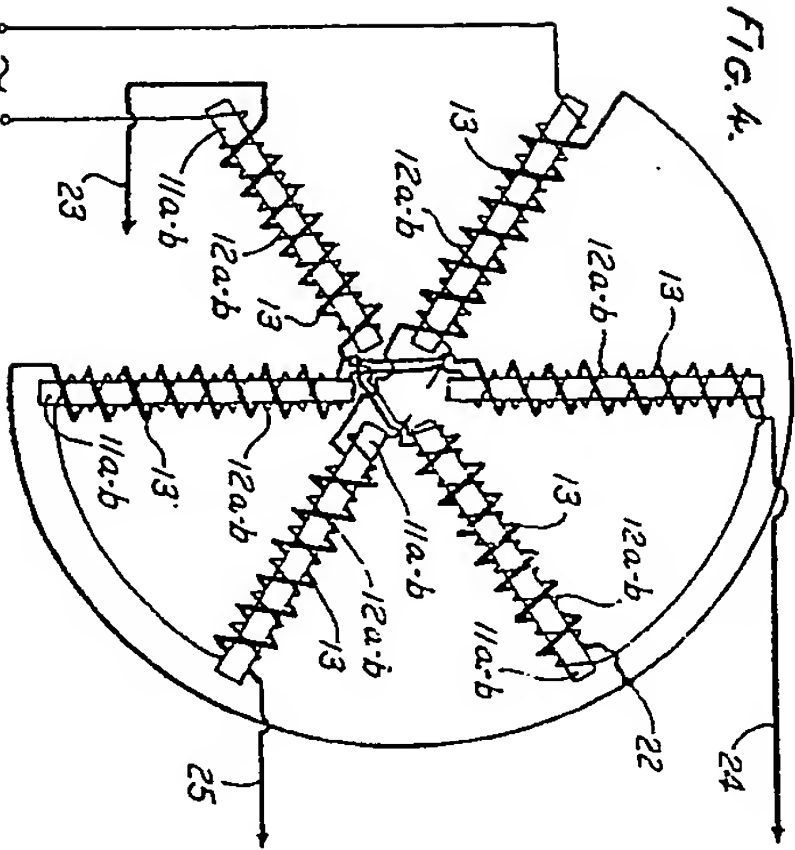


FIG. 4.



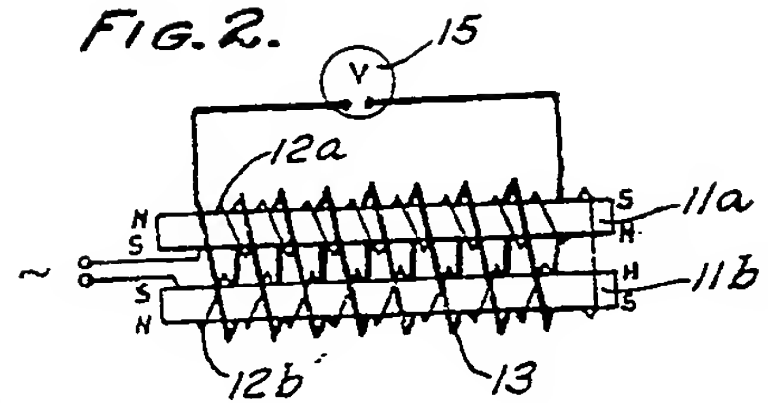
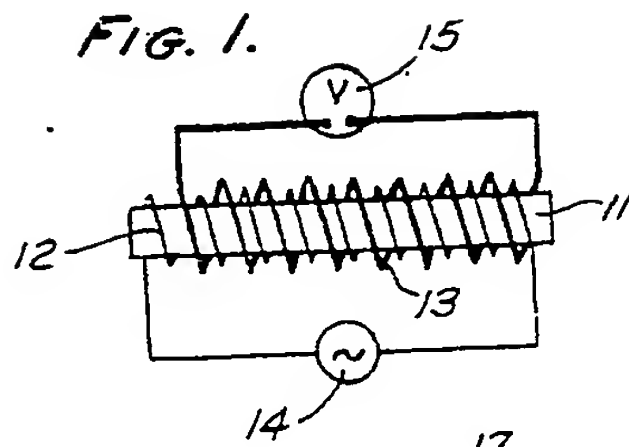


FIG.

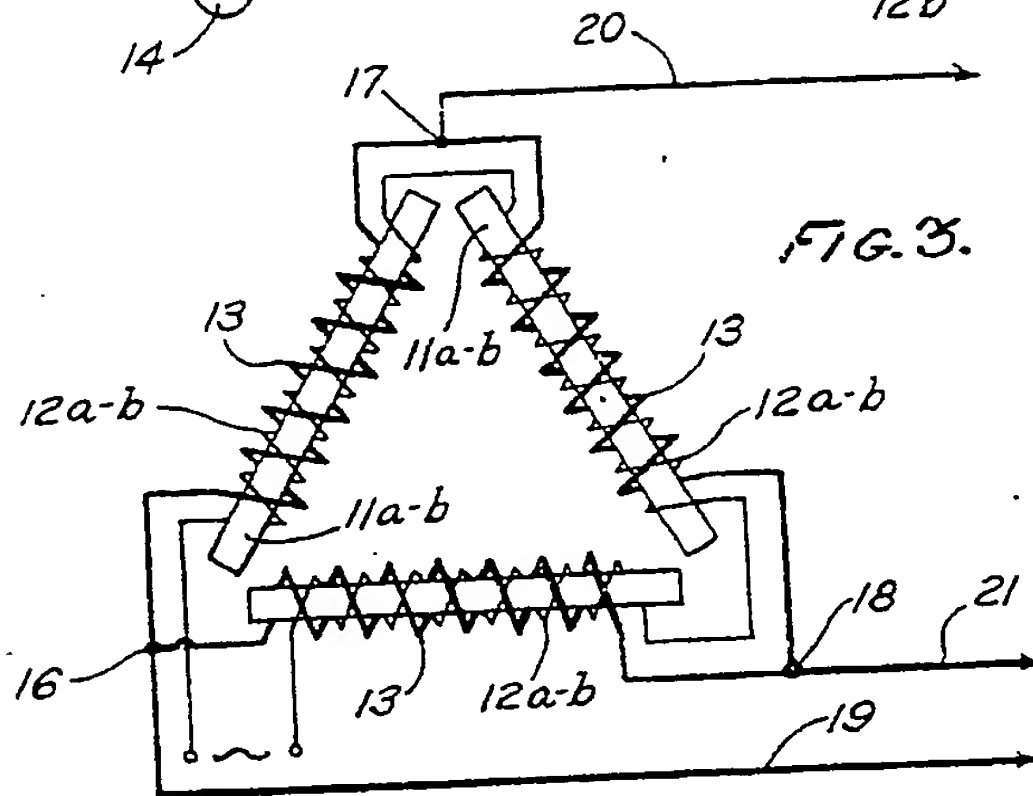
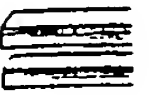
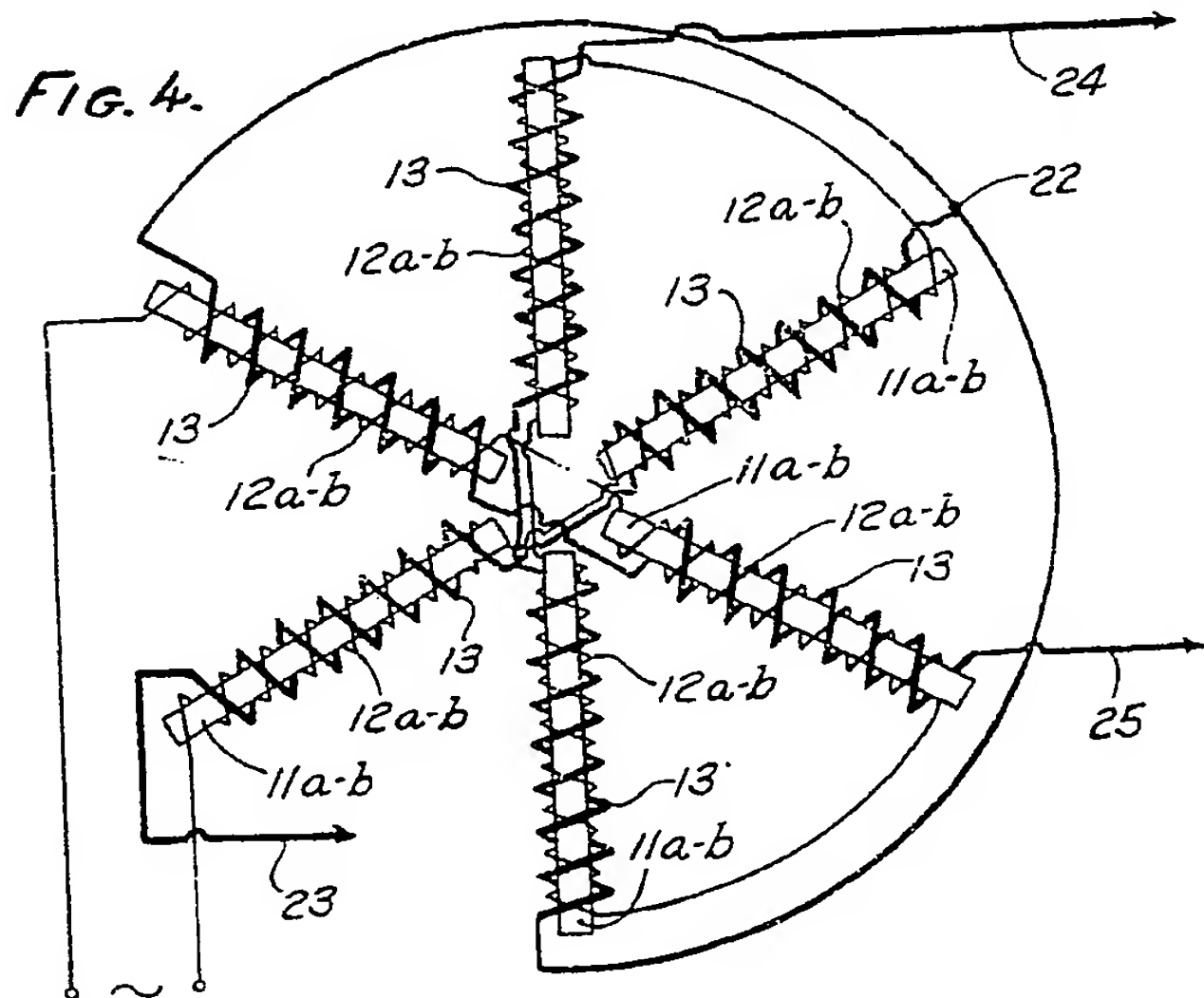
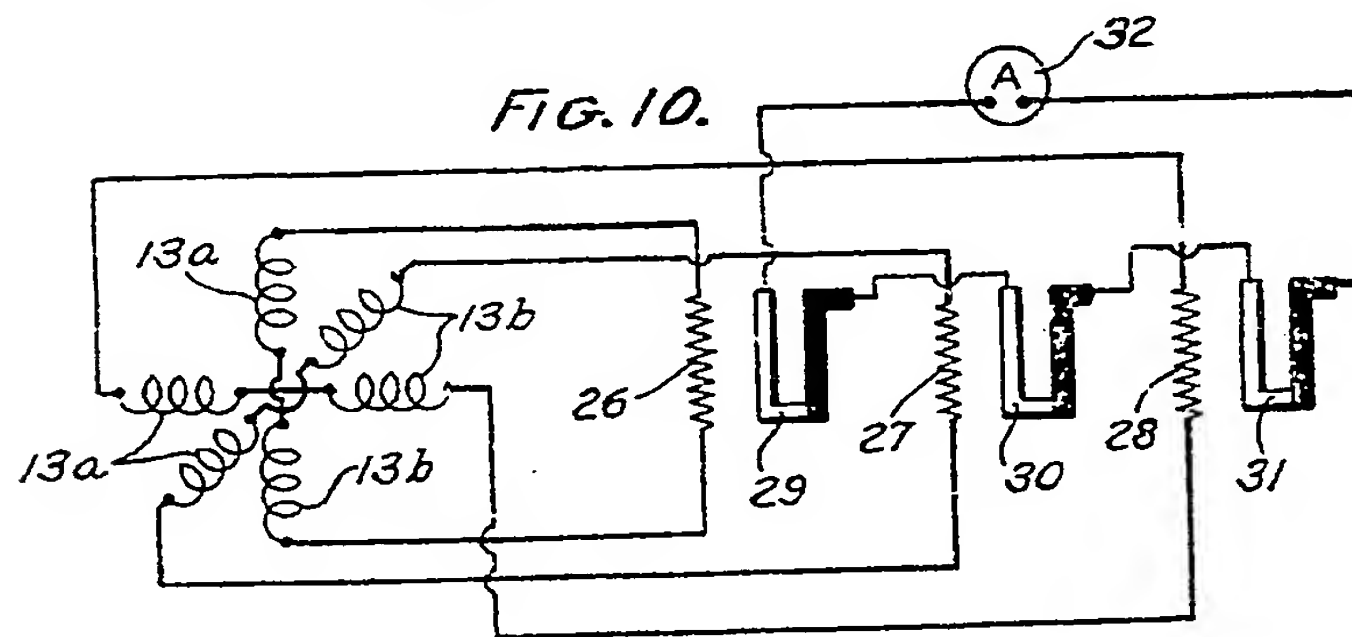
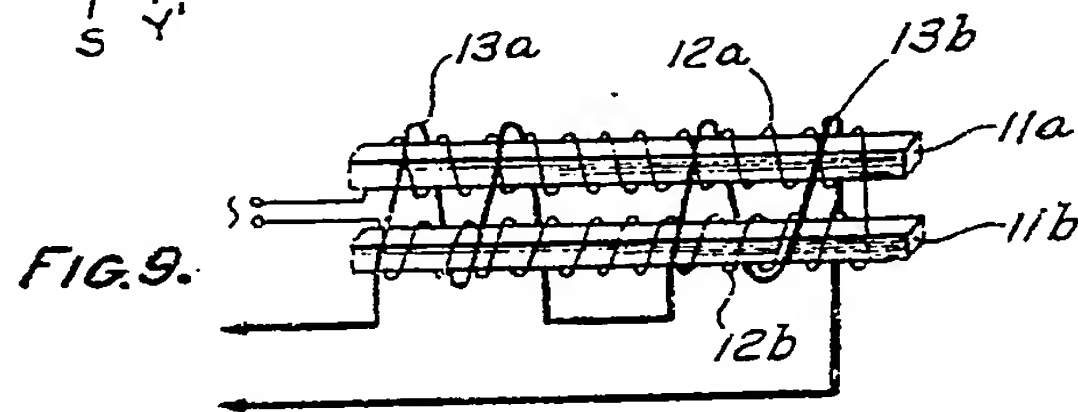
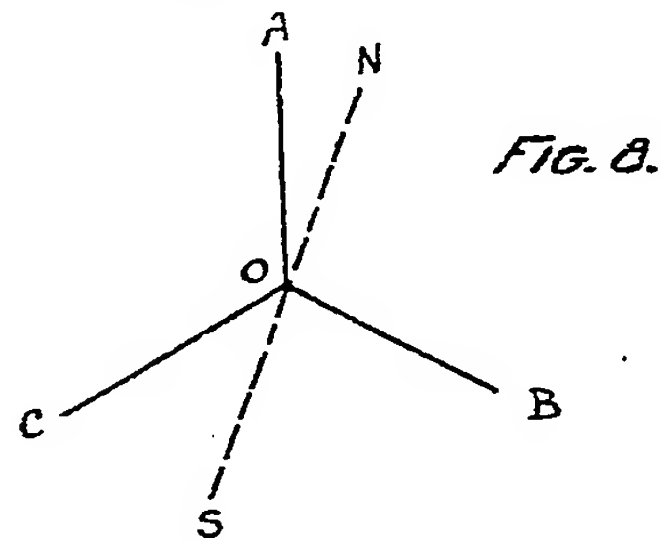
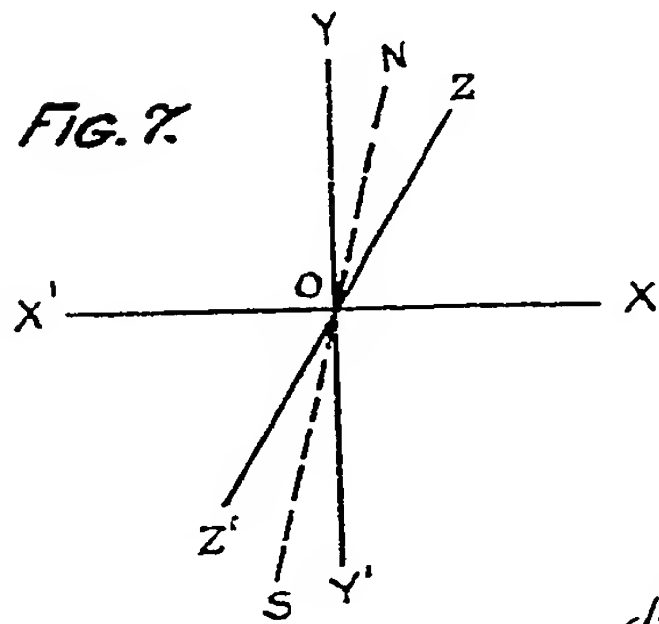
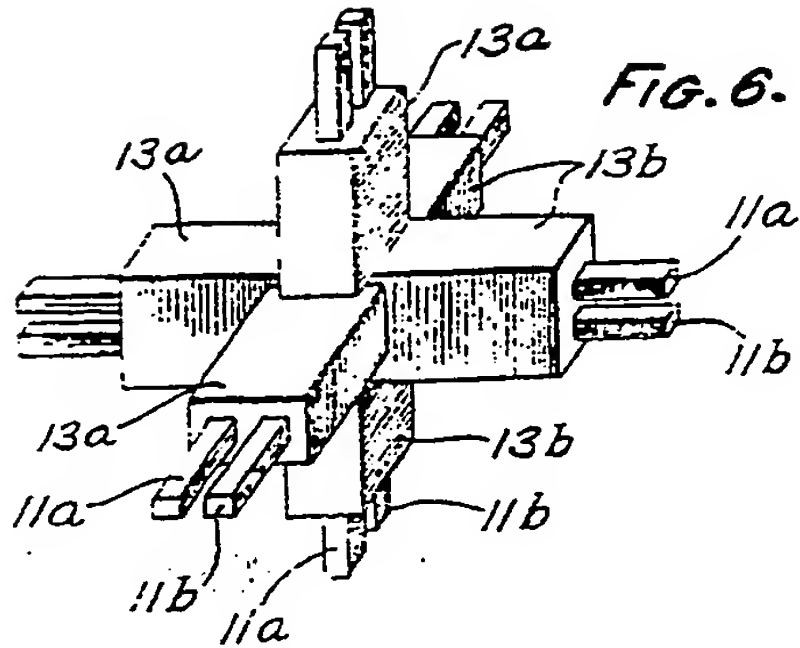
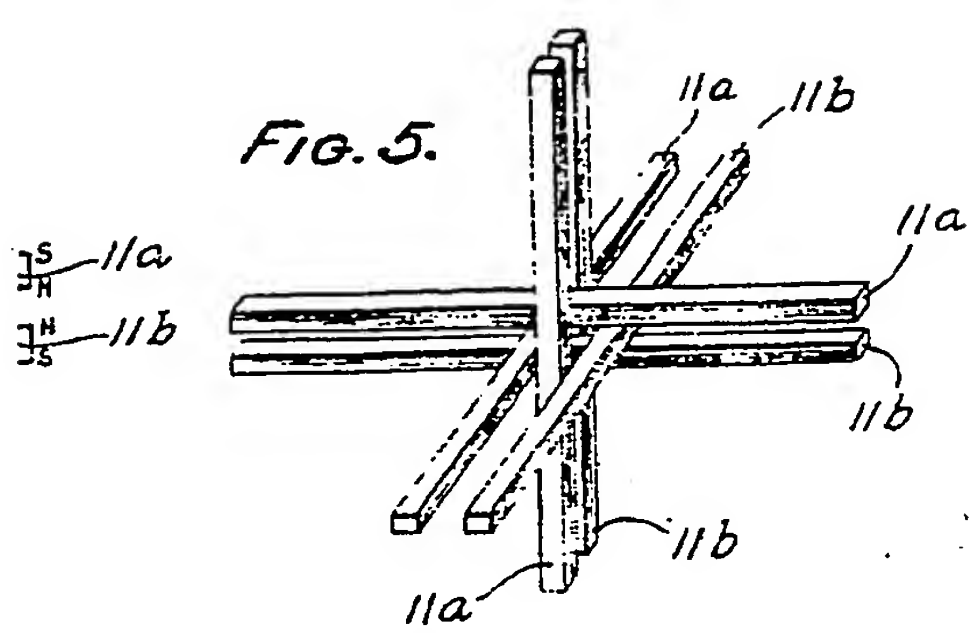


FIG.

x'—





THIS PAGE BLANK (USPTO)